
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2006/2007

April 2007

EKC 215 – Pemindahan Jisim

Masa : 3 jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEMBILAN muka surat yang bercetak dan SATU muka surat Lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Arahan: Jawab mana-mana **EMPAT (4)** soalan. Jika calon menjawab lebih daripada empat soalan hanya empat soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.

PELAJAR DIBENARKAN MENJAWAB SOALAN SAMA ADA DALAM BAHASA MALAYSIA ATAU BAHASA INGGERIS.

Answer any FOUR questions.

Jawab mana-mana EMPAT soalan.

1. [a] Define the following terms:-

[i] The diffusivity

[ii] The overall liquid phase mass transfer coefficient in interface mass transfer

[2 marks]

[b] Describe the Reynold's analogy of heat and mass transfer

[3 marks]

[c] A spherical pellet of benzoic acid of radius r is dissolved in a large pool of pure water. The Sherwood number for the process of mass transfer could be assumed to be 4.0. Show that the rate of change of the radius due to dissolution could be expressed as $dr/dt = -2D.C_s/[r.\rho_s]$ where D is the diffusivity of benzoic acid in water, C_s the solubility of benzoic acid in kg/m^3 and ρ_s is the solid density of benzoic acid.

Estimate the time required for complete dissolution of a particle of radius of $150 \times 10^{-6} \text{ m}$, if $C_s = 4400 \text{ kg/m}^3$ and $D = 1.22 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Density of benzoic acid is 2500 kg/m^3 .

[20 marks]

1. [a] Berikan definisi bagi istilah-istilah berikut:-

[i] Kemerresapan

[ii] Pekali pemindahan jisim fasa cecair keseluruhan dalam pemindahan jisim antara muka

[2 markah]

[b] Huraikan tamsil Reynold bagi pemindahan haba dan jisim

[3 markah]

[c] Sebutir until sfera asid benzoik dengan jejari r dilarutkan dalam suatu takungan besar air tulen. Nombor Sherwood bagi proses pemindahan jisim boleh diandaikan bernilai 4.0. Tunjukkan bahawa kadar perubahan jejari yang disebabkan oleh pelarutan boleh diungkapkan oleh $dr/dt = -2D.C_s/[r.\rho_s]$ di mana D adalah kemerresapan asid benzoik dalam air, C_s adalah kebolehlarutan asid benzoik dalam kg/m^3 dan ρ_s adalah ketumpatan pepejal asid benzoik.

Anggarkan masa yang diperlukan bagi pelarutan lengkap zarah dengan jejari $150 \times 10^{-6} \text{ m}$, jika $C_s = 4400 \text{ kg/m}^3$ dan $D = 1.22 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Ketumpatan asid benzoik ialah 2500 kg/m^3 .

[20 markah]

2. [a] [i] Mr. Tan is planning to set-up a factory that produces sugar from sugar cane. Later, he found out that one of the main by products from the factory is molasses. In order to utilize the molasses, it can be fermented to produce a liquor containing ethyl alcohol. When molasses is fermented to produce the liquor, a CO₂ rich vapor containing a small amount of ethyl alcohol is evolved. One of the possible methods to recover the ethyl alcohol in the vapor phase is by absorption with water using tray tower. As a chemical engineer, you are required to give professional consultation to Mr. Tan on 3 types of absorption tray tower that is suitable for the process. Your consultation advice should include the relative cost, pressure drop and efficiency. State clearly any assumptions that you have made in your consultation advice. Among the 3 types given, suggest the most suitable type. Justify your answer.

[6 marks]

- [ii] Assuming that you have selected a sieve-tray tower for the above separation process, determine the number of equilibrium stages required for the counter-current flow of liquid and gas. You can also assume isothermal, isobaric conditions in the tower and neglect mass transfer of all components except ethyl alcohol. The entering liquid absorbent is 1.5 times the minimum value.

[12 marks]

- [iii] Estimate the required tray diameter for the absorber, assuming a tray spacing of 24 in, a foaming factor of $F_F = 0.9$, a flooding fraction of $f = 0.80$, a surface tension of $\sigma = 70$ dynes/cm and $F_{HA} = 1.0$. The specific gravity of the liquid can be taken as 0.986. The entrainment flooding capacity plot is given in the Appendix.

[7 marks]

Data Given:

Entering gas : 180 kmol/h, 98 mol % CO₂, 2 mol % ethyl alcohol, 30°C, 110 kPa

Entering liquid absorbent: 100% water, 30°C, 110 kPa

Required recovery of ethyl alcohol: 97%

The equilibrium curve can be taken as : $Y = \frac{0.57 X}{1 + 0.43 X}$

Molecular weight of CO₂ : 44 g/mol

Molecular weight of ethyl alcohol: 46 g/mol

Molecular weight of water: 18 g/mol

Universal gas constant, R : 8.314 kJ/kmol . K

Vapor pressure of ethyl alcohol at 30°C: 10.5 kPa

Liquid phase activity coefficient of ethyl alcohol, γ : 6

The following equations may be required:

$$U_f = C \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2}$$

...4/-

$$C = F_{ST} F_F F_{HA} C_F$$

$$F_{ST} = \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0.2}$$

$$D_T = \left[\frac{4 G M_G}{f U_f \pi \left(1 - \frac{A_d}{A} \right) \rho_G} \right]^{0.5}$$

$$\frac{A_d}{A} = \begin{cases} 0.1, & F_{LV} \leq 0.1 \\ 0.1 + \frac{(F_{LV} - 0.1)}{9}, & 0.1 \leq F_{LV} \leq 1.0 \\ 0.2, & F_{LV} \geq 1.0 \end{cases}$$

$$K = \partial \frac{P^*}{P}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

2. [a] [i] Encik Tan sedang merancang untuk merekabentuk sebuah kilang yang menghasilkan gula daripada tebu. Pada peringkat perancangan, beliau menyedari bahawa salah satu produk sampingan proses tersebut adalah molas. Molas tersebut boleh digunakan untuk menghasilkan cecair yang mengandungi etil alkohol melalui proses penapaian. Apabila molas melalui proses penapaian bagi menghasilkan cecair tersebut, gas yang kaya dengan CO₂ dengan kuantiti etil alkohol yang sedikit akan dihasilkan. Salah satu cara untuk mendapatkan semula etil alkohol dalam fasa gas tersebut adalah melalui proses penyerapan dengan air menggunakan turus dulang. Sebagai seorang jurutera kimia, anda perlu memberi runding cara profesional mengenai 3 jenis turus dulang penyerapan yang sesuai bagi proses tersebut. Nasihat runding cara anda haruslah dari segi kos, kejatuhan tekanan dan kecekapan secara relatif. Nyatakan dengan jelas sebarang anggapan yang anda buat dalam nasihat runding cara anda. Berdasarkan 3 jenis turus dulang yang diberikan, cadangkan jenis yang paling sesuai. Wajarkan jawapan anda.

[6 markah]

- [ii] Seandainya anda telah memilih turus dulang ayak bagi proses pemisahan di atas, tentukan bilangan peringkat keseimbangan yang diperlukan bagi aliran lawan arus gas dan cecair. Anda juga boleh menganggap keadaan sesuhu, setekanan di dalam turus dan abaikan pemindahan jisim kesemua komponen kecuali etil alkohol. Aliran cecair bahan penyerap masukan adalah 1.5 kali nilai minimum.

[12 markah]

...5/-

- [iii] Anggarkan diameter dulang bagi turus penyerap tersebut, seandainya parameter-parameter lain adalah ditetapkan seperti berikut; jarak dulang = 24 in, faktor pembuihan $F_F = 0.9$, nisbah pembersihan $f = 0.80$, ketegangan permukaan $\sigma = 70$ dynes/sm dan $F_{HA} = 1.0$. Graviti tentu cecair boleh diambil sebagai 0.986. Plot kapasiti pemerangkapan pembersihan diberikan di dalam Lampiran.

[7 markah]

Data yang diberikan:

Gas masukan : 180 kmol/jam, 98% mol CO_2 , 2% mol etil alkohol, 30°C , 110 kPa

Bahan penyerap cecair masukan: 100% air, 30°C , 110 kPa

Pemulihan etil alkohol yang dikehendaki: 97%

Lengkungan keseimbangan boleh diambil sebagai : $Y = \frac{0.57 X}{1 + 0.43 X}$

Jisim molekul CO_2 : 44 g/mol

Jisim molekul etil alkohol: 46 g/mol

Jisim molekul air: 18 g/mol

Pemalar gas, R : 8.314 kJ/kmol . K

Tekanan wap etil alkohol pada 30°C : 10.5 kPa

Pekali aktiviti fasa gas bagi etil alkohol, ϕ : 6

Persamaan-persamaan berikut mungkin diperlukan:

$$U_f = C \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2}$$

$$C = F_{ST} F_F F_{HA} C_F$$

$$F_{ST} = \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0.2}$$

$$D_T = \left[\frac{4 G M_G}{f U_f \pi \left(1 - \frac{A_d}{A} \right) \rho_G} \right]^{0.5}$$

$$\frac{A_d}{A} = \begin{cases} 0.1, & F_{LV} \leq 0.1 \\ 0.1 + \frac{(F_{LV} - 0.1)}{9}, & 0.1 \leq F_{LV} \leq 1.0 \\ 0.2, & F_{LV} \geq 1.0 \end{cases}$$

$$K = \phi \frac{P^*}{P}$$

$$1 \text{ kaki} = 0.3048 \text{ m}$$

...6/-

3. [a] With the aid of a sketch, describe how bubble caps work in a distillation column.

[5 marks]

- [b] Table Q.3 gives the vapour liquid equilibrium data for a binary mixture of solvents A and B. A is more volatile than B.

A mixture of compositions $x_{fA} = 0.2$ enters a distillation column at a certain point. The mixture is a liquid at boiling point and the flow rate is 50 kmol/h. The top product ($x_D = 0.95$) is condensed and 84.2% of the condensate is recycled back to the column. The bottom product contains 5 mol% of A. Estimate:

- [i] The minimum reflux ratio for the column.
- [ii] The number of theoretical plates in the rectifying section
- [iii] The number of theoretical plates in the stripping section
- [iv] The top and bottom products flow rates
- [v] The minimum number of plates for total reflux

Table Q.3 : Vapour-liquid equilibrium data

y_A	0	0.12	0.2	0.3	0.38	0.45	0.55	0.62	0.69	0.72	0.75
x_A	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5

y_A	0.8	0.82	0.86	0.88	0.93	0.94	0.95	0.98	0.99	1
x_A	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1

[20 marks]

3. [a] Dengan bantuan sebuah lakaran, huraikan bagaimana tukup gelembung berfungsi dalam menara penyulingan.

[5 markah]

- [b] Jadual S.3 memberikan data keseimbangan wap cecair bagi suatu campuran perduaan pelarut A dan B. A adalah lebih meruap dari B.

Suatu campuran dengan komposisi $x_{fA} = 0.2$ memasuki sebuah menara penyulingan pada kedudukan tertentu. Campuran tersebut adalah cecair pada titik didih dan kadar aliran adalah 50 kmol/jam. Keluaran atas ($x_D = 0.95$) dipeluwap dan 84.2% peluwap dikitaran semula ke menara. Keluaran bawah mengandungi 5% mol A. Anggarkan:

- [i] Nisbah refluks minimum menara.
- [ii] Bilangan plat teori dalam bahagian penulenan
- [iii] Bilangan plat teori dalam bahagian perlucutan

...7/-

[iv] Kadar aliran keluaran atas dan bawah

[v] Bilangan minimum plat bagi refluks penuh

Jadual S.3 : Data keseimbangan wap-cecair

y_A	0	0.12	0.2	0.3	0.38	0.45	0.55	0.62	0.69	0.72	0.75
x_A	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5

y_A	0.8	0.82	0.86	0.88	0.93	0.94	0.95	0.98	0.99	1
x_A	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1

[20 markah]

4. [a] [i] Define leaching process and state 4 factors that influence the leaching process.

[4 marks]

- [ii] It is desired to recover precipitated chalk from the causticising of soda ash. After decanting the liquor from the precipitators the sludge has the composition of 5 wt% CaCO_3 , 0.1 wt% NaOH and the balance water. In an industrial process, 1000 ton/day of this sludge is fed to two thickeners where it is washed with 200 ton/day of neutral water. The pulp removed from the bottom of the thickeners contains 4 kg of water/kg of chalk. Calculate the composition of the final under flow in weight percentage.

[12 marks]

- [b] A mixture weighing 1000 kg contains 23.5 wt% acetone and 76.5 wt% water and is to be extracted by 500 kg methyl-isobutyl ketone in a single-stage extraction. Determine the amounts and compositions of the extract and raffinate phase. The equilibrium and relevant data is given in the Appendix.

[9 marks]

4. [a] [i] Takrifkan proses pengurusan dan nyatakan 4 faktor yang mempengaruhi proses pengurusan.

[4 markah]

- [ii] Anda ingin memulihkan mendakan kapur daripada pengkaustikan abu soda. Selepas menyiringkan cecair daripada mendakan, enapcemar yang terhasil mempunyai komposisi 5% berat CaCO_3 , 0.1% berat NaOH dan selebihnya air. Di dalam proses industri, 1000 tan/hari enapcemar ini disuapkan ke dalam dua peringkat pemekat di mana ia dibasuh dengan 200 tan/hari air neutral. Pulpa yang dikeluarkan daripada bahagian bawah pemekat mengandungi 4 kg air/kg kapur. Kirakan komposisi di dalam aliran bawah akhir dalam peratusan berat.

[12 markah]

...8/-

- [b] Satu larutan dengan berat 1000 kg mengandungi 23.5% berat aseton dan 76.5% berat air dan akan disarikan dengan 500 kg metil-isobutil keton di dalam proses penyarian satu peringkat. Tentukan kuantiti dan komposisi fasa sari dan rafinat. Data keseimbangan dan berkaitan diberikan di dalam Lampiran.

[9 markah]

5. [a] [i] Cotton seed, containing 25% by mass of oil are to be extracted in a countercurrent plant. It is desired to recover 90% of the oil in a solution containing 50% by mass of oil. If the seeds are extracted with fresh solvent (hexane), how many ideal stages are required? It has been found experimentally that 1 kg of solution is removed in the underflow in association with every 2 kg of insoluble matter. Solve using the graphical method and take basis of 1000 kg of cotton seed in your calculation.

[9 marks]

- [ii] If the process above were to be conducted in a co-current plant, estimate the number of ideal stages required. Justify your answer.

[3 marks]

- [b] Mass transfer of a component A takes place from a stationary liquid pool to air above the surface of the pool. Air above the pool surface is flowing parallel to the surface at a velocity U m/s. The overall mass transfer coefficients K_c for different velocities of air were measured and the data are shown in Table Q.5 below. The gas film mass transfer coefficient (k_p) can be related to the velocity as $k_p = \alpha \cdot U^{0.81}$. The liquid film mass transfer coefficient (k_c) may be assumed to be constant. Henry's constant may be assumed to be 35 bar/(kmol/m³).

Estimate the values of α and k_c .

Table Q.5

K_c m/s	U m/s
4.89×10^{-8}	1
5.67×10^{-8}	1.2
8.57×10^{-8}	2
9.60×10^{-8}	2.3
1.50×10^{-7}	4
2.09×10^{-7}	6

[13 marks]

...9/-

5. [a] [i] Biji kapas mengandungi 25% berat minyak akan disarikan di loji berlawanan arus. Anda perlu memulihkan 90% daripada minyak di dalam larutan yang mengandungi 50% berat minyak. Sekiranya biji tersebut disarikan dengan pelarut tulen (hexana), kirakan berapa peringkat unggul yang akan diperlukan. Melalui ujikaji, didapati bahawa 1 kg larutan akan disingkirkan di dalam aliran bawah bagi setiap 2 kg bahan yang tak boleh larut. Selesaikan masalah ini menggunakan kaedah graf dan ambil asas 1000 kg biji kapas dalam pengiraan anda.

[9 markah]

- [ii] Sekiranya proses di atas dijalankan di loji searus, anggarkan bilangan peringkat unggul yang akan diperlukan. Wajarkan jawapan anda.

[3 markah]

- [b] Pemindahan jisim komponen A berlaku dari suatu takungan cecair pegun ke udara di atas permukaan takungan. Udara di atas permukaan takungan mengalir selari dengan permukaan tersebut pada halaju U m/s. Pekali pemindahan jisim keseluruhan K_c bagi halaju udara yang berbeza-beza telah diukur dan data ditunjukkan dalam Jadual S.5 di bawah. Pekali pemindahan jisim saput gas (k_p) boleh dihubungkan dengan halaju sebagai $k_p = \alpha U^{0.81}$. Pekali pemindahan jisim saput cecair (k_c) boleh diandaikan sebagai malar. Pemalar Henry boleh diandaikan sebagai 35 bar/ (kmol/m³).

Anggarkan nilai-nilai α dan k_c .

Jadual S.5

K_c m/s	U m/s
4.89×10^{-8}	1
5.67×10^{-8}	1.2
8.57×10^{-8}	2
9.60×10^{-8}	2.3
1.50×10^{-7}	4
2.09×10^{-7}	6

[13 markah]

Lampiran

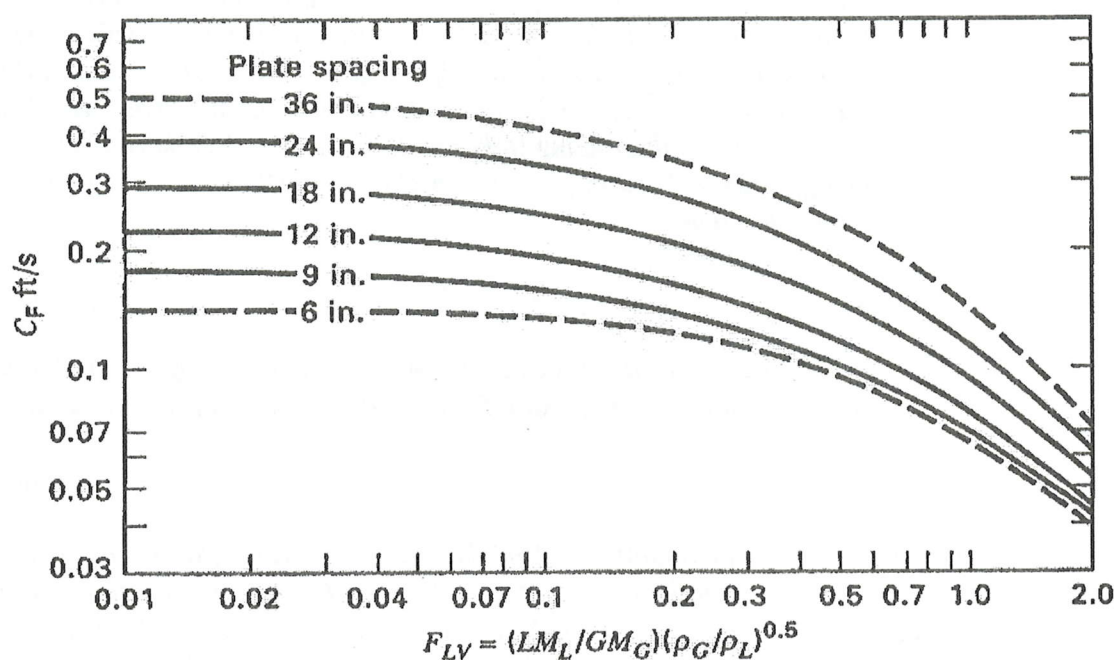


Figure Entrainment flooding capacity in a trayed tower.

**Liquid-Liquid Equilibrium Data for
Acetone-Water-Methyl Isobutyl Ketone (MIK)
System at 298-299 K or 25-26°C**

Composition Data (wt %)			Acetone Distribution Data (wt %)	
MIK	Acetone	Water	Water Phase	MIK Phase
98.0	0	2.00	2.5	4.5
93.2	4.6	2.33	5.5	10.0
77.3	18.95	3.86	7.5	13.5
71.0	24.4	4.66	10.0	17.5
65.5	28.9	5.53	12.5	21.3
54.7	37.6	7.82	15.5	25.5
46.2	43.2	10.7	17.5	28.2
12.4	42.7	45.0	20.0	31.2
5.01	30.9	64.2	22.5	34.0
3.23	20.9	75.8	25.0	36.5
2.12	3.73	94.2	26.0	37.5
2.20	0	97.8		

Source: Reprinted with permission from D. F. Othmer, R. E. White, and E. Trueger, *Ind. Eng. Chem.*, 33, 1240 (1941). Copyright by the American Chemical Society.